

## ケーブル分離設備の実証試験結果について

令和 2 年 8 月 21 日  
日本原子力研究開発機構  
原子力科学研究所

JRR-3 は、火災発生時に原子炉を安全に停止し、停止後 30 秒間の冷却を確保することが必要であることから、原子炉建家貫通部の安全保護系ケーブル及び非常用電源系ケーブル（以下、「防護対象ケーブル」という。）に対して難燃シートを用いて分離対策を施し、内部火災が発生した場合に 2 系統ある防護対象ケーブルが同時に機能喪失しないこととしている。原子炉建家貫通部の防護対象ではない一般系のケーブルが発火源となる火災発生を想定した場合に、防護対象ケーブルの機能喪失を防止するための分離設備として施工する難燃シートについて、ISO834 の標準加熱曲線で 1 時間加熱したときの非加熱面側の温度が防護対象機器の機能喪失温度（原子力発電所の内部火災影響評価ガイドのケーブル損傷基準:205℃）以下であることを確認するため、試験体を用いた実証試験を行った。以下に具体的な試験内容、試験結果等を示す。

## 1. 試験内容

### 1.1 試験体の仕様

実証試験に用いる試験体は、以下の機器等を組み合わせて構成する。図 1 に試験体の概略図を示す。

#### (1) 難燃シート（以下①～③の複合材）

##### ①断熱材

- ・名称：ファインフレックス BIO ブランケット
- ・製造社：ニチアス
- ・型式番号：5615
- ・品種：160kg/m<sup>3</sup> (#160)
- ・厚さ：50mm

##### ②表皮材（外側）

- ・名称：コーテッドシリカクロス
- ・製造社：株式会社日本無機
- ・型式番号：BCS/NZ
- ・厚さ：0.6mm
- ・耐熱温度：1000℃

##### ③内皮材（内側）

- ・名称：ガラスクロス
- ・製造社：ユニチカ
- ・厚さ：0.36mm

- ・使用温度：300～500℃
- (2) ケーブルトレイ模擬体
- ・材質：亜鉛メッキ鋼板（SECC）
  - ・外径寸法：280mm(W)×1500mm(L)×226.6mm(H)
  - ・鋼板厚さ：1.6mm
  - ・形状：全面密封形
- (3) 難燃性ケーブル
- ・名称：架橋ポリエチレン絶縁ビニルシース電力ケーブル
  - ・製造社：住電日立ケーブル株式会社
  - ・型式番号：600V F-CV 3C×22sq
  - ・断面積：22mm<sup>2</sup>
  - ・心数：3心
- (4) 温度センサ
- ・使用熱電対：K熱電対（JIS C 1602に規定するクラス2を満たすもの）
  - ・仕様：ガラス被覆熱電対、素線構成（1/0.65×1P）
  - ・長さ：4m

## 1.2 試験方法

試験は、建築基準法に基づく標準加熱曲線（IS0834 曲線）を用いて実施するものとする。鋼板のケーブルトレイ模擬体内に温度センサ及び難燃性ケーブルを固定し、ケーブルトレイ模擬体の外側全面に難燃シートを巻設した試験体を準備し、加熱試験炉にて加熱試験を行う。

### (1) 加熱条件

参考資料1に示す標準加熱曲線（IS0834 曲線）及び標準加熱試験温度表に基づき、加熱開始から1時間経過後の温度が945℃となるように試験体の片面を加熱する。加熱試験炉の仕様及び外観図を参考資料2に示す。

### (2) 試験ケース

JRR-3の試験は、難燃シート（断熱材）の厚さを変えた以下の2つのケースにて実施する。

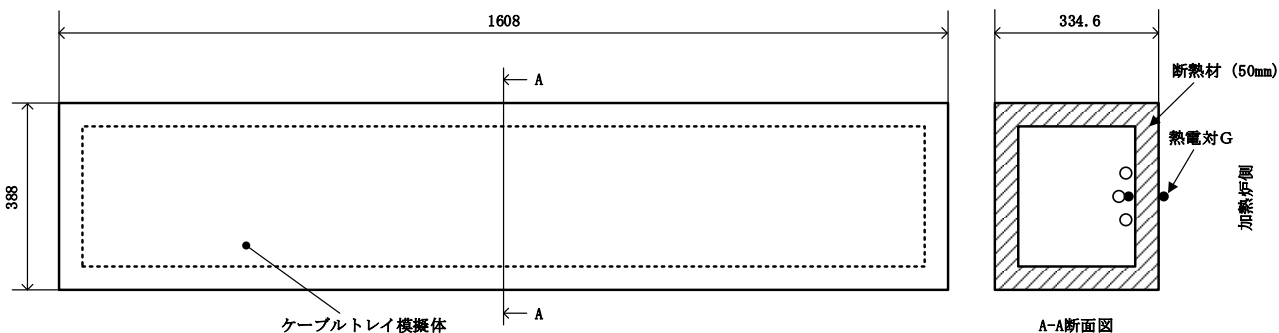
- ・ケース1 難燃シート（断熱材）の厚さ：50mm
- ・ケース2 難燃シート（断熱材）の厚さ：40mm（元厚さ50mm→40mmに圧縮したもの）※

※断熱材を圧縮した場合にも同様の性能が担保されることを実証試験により確認する。

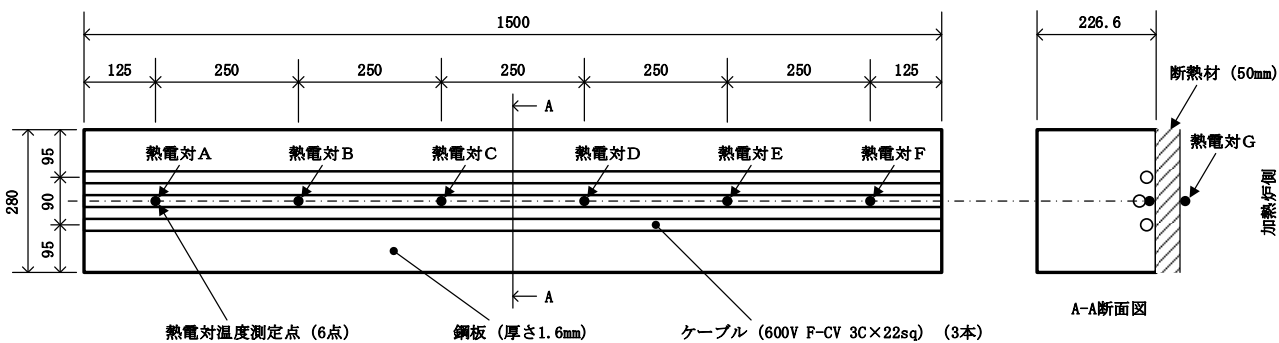
### (3) 判定基準

試験体内部温度（非加熱面温度）が機能喪失温度（ケーブル損傷基準：205℃）以下であること。

・試験体の主要寸法



・熱電対の配置



(単位：mm)

・試験体の断面 (詳細)

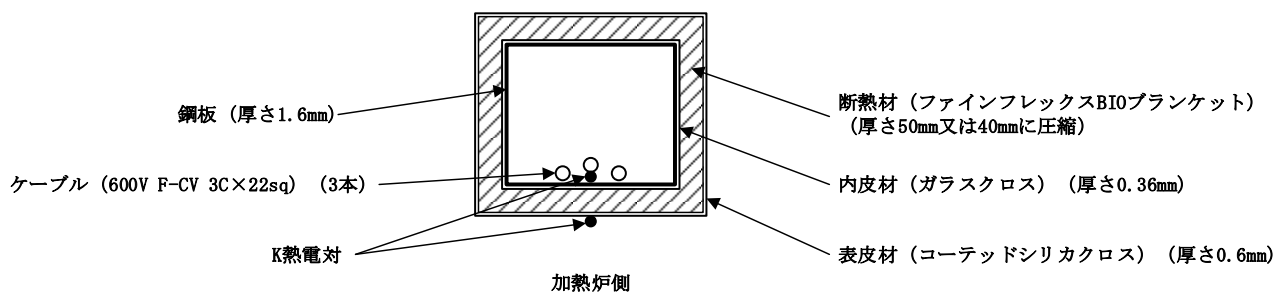
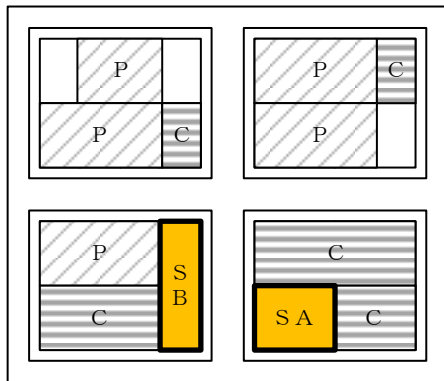


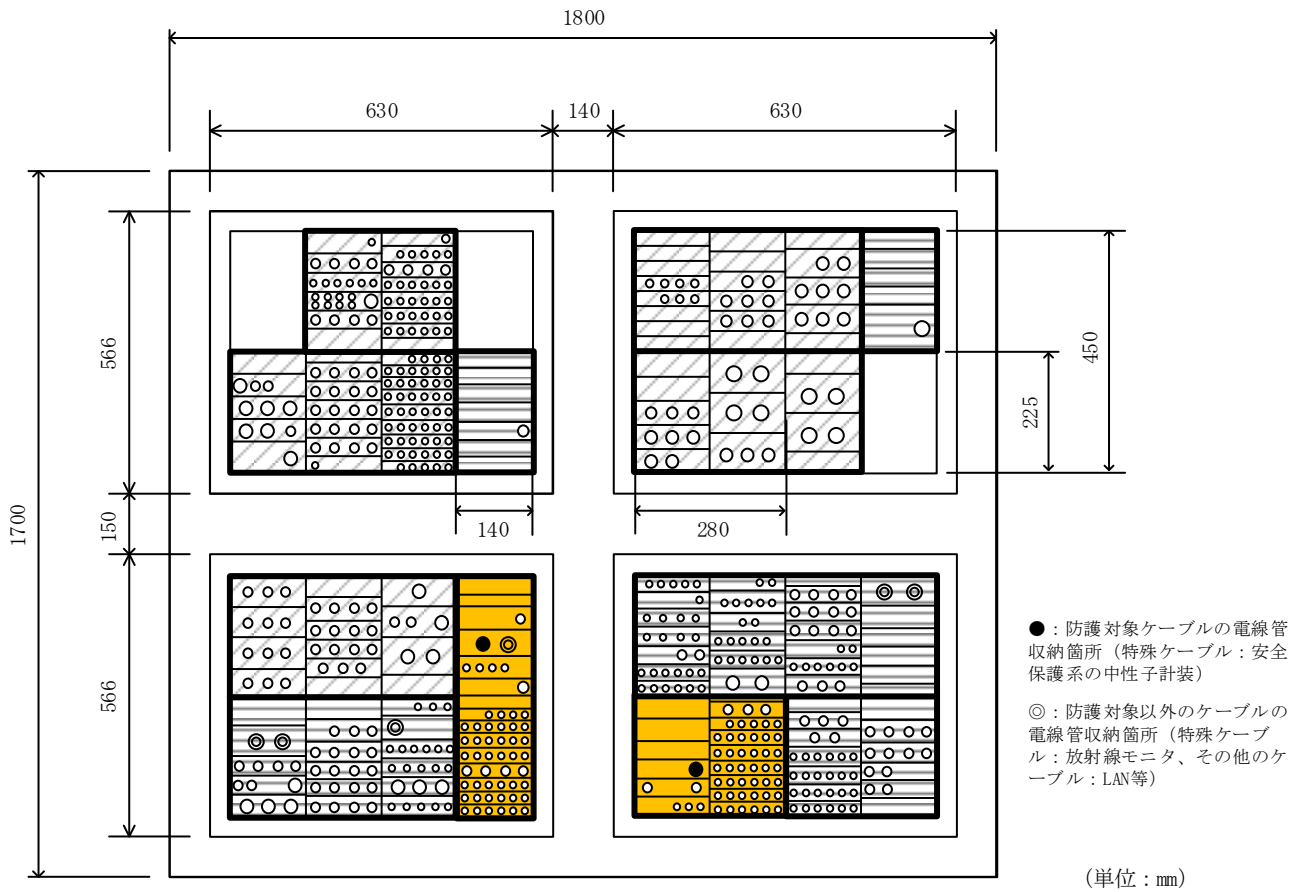
図1 試験体の概略図



P : 動力ケーブル (動力 (電灯含む。)、制御)  
 C : 信号ケーブル (計装、特殊、その他)

S A : 安全保護系+非常用電源系 (A系) ← 防護対象ケーブル  
 S B : 安全保護系+非常用電源系 (B系)

貫通部の区分



(単位: mm)

図2 貫通部のケーブル詳細配置図 (原子炉建家側視点)

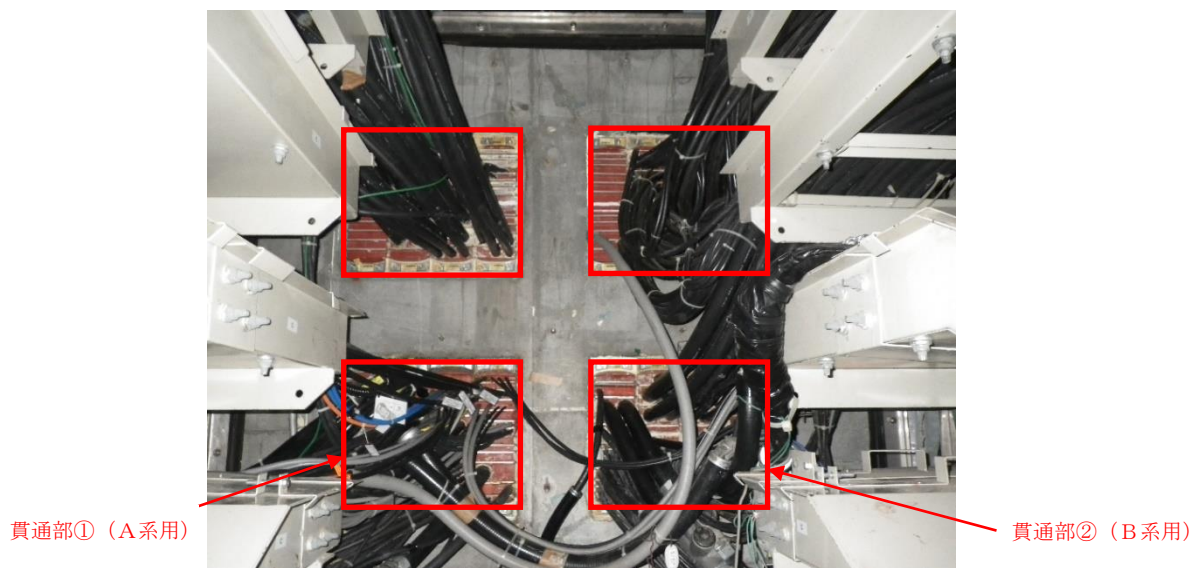


図3 貫通部の写真 (ケーブルダクト室側視点)

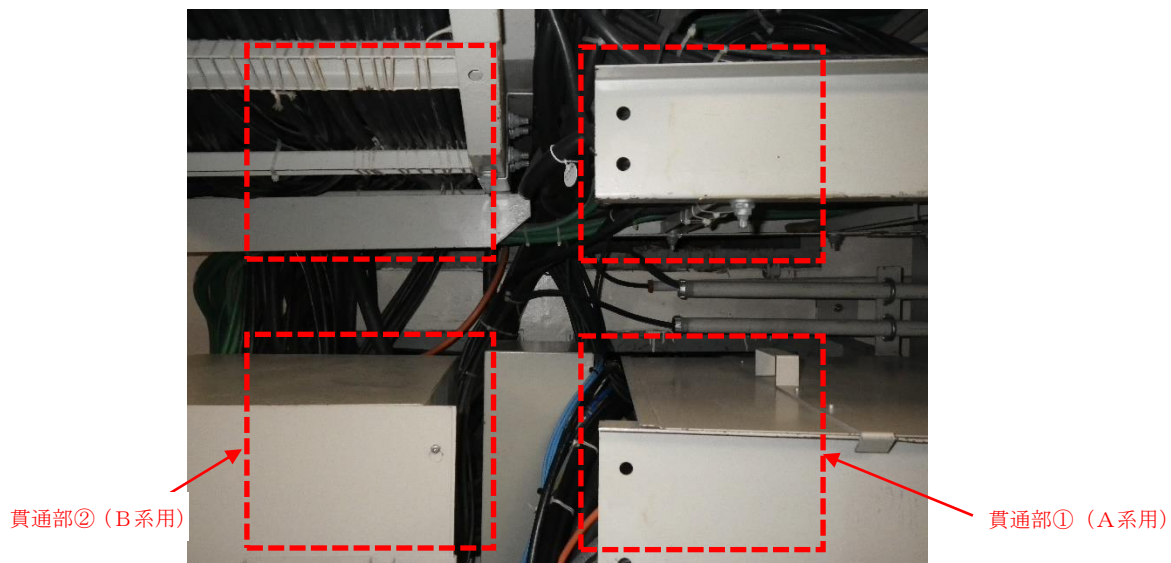


図4 貫通部の写真 (原子炉建家側視点)

## 2. 試験結果

### (1) ケース1 難燃シート（断熱材）の厚さ：50mm

<u>経過時間（分）</u>	<u>標準加熱試験温度（℃）</u>	<u>試験体内部温度（℃）</u>
<u>0</u>	<u>50℃以下</u>	
<u>5</u>	<u>576</u>	
<u>10</u>	<u>678</u>	
<u>15</u>	<u>739</u>	
<u>20</u>	<u>781</u>	
<u>25</u>	<u>815</u>	
<u>30</u>	<u>842</u>	
<u>35</u>	<u>865</u>	
<u>40</u>	<u>885</u>	
<u>45</u>	<u>902</u>	
<u>50</u>	<u>918</u>	
<u>55</u>	<u>932</u>	
<u>60</u>	<u>945</u>	

### (2) ケース2 難燃シート（断熱材）の厚さ：40mm（元厚さ50mm→40mmに圧縮したもの）

<u>経過時間（分）</u>	<u>標準加熱試験温度（℃）</u>	<u>試験体内部温度（℃）</u>
<u>0</u>	<u>50℃以下</u>	
<u>5</u>	<u>576</u>	
<u>10</u>	<u>678</u>	
<u>15</u>	<u>739</u>	
<u>20</u>	<u>781</u>	
<u>25</u>	<u>815</u>	
<u>30</u>	<u>842</u>	
<u>35</u>	<u>865</u>	
<u>40</u>	<u>885</u>	
<u>45</u>	<u>902</u>	
<u>50</u>	<u>918</u>	
<u>55</u>	<u>932</u>	
<u>60</u>	<u>945</u>	

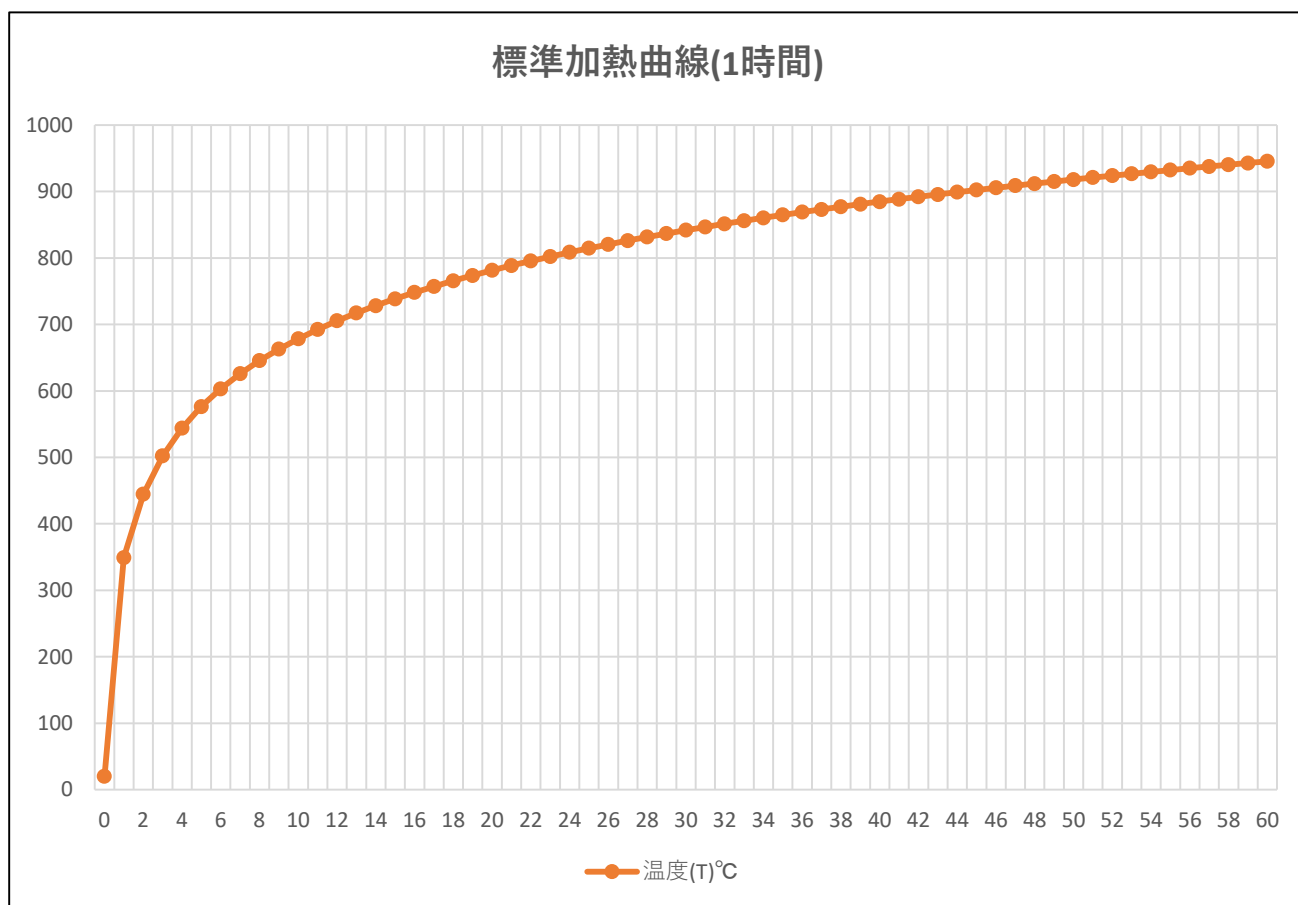
ケース1及びケース2の試験の結果、標準加熱曲線（IS0834曲線）に基づく加熱開始から1時間経過後の945℃到達時に、試験体内部温度が205℃以下であることを確認した。

上記のとおり、ケース1及びケース2ともに判定基準を満足することが確認できたことから、難燃シート（断熱材）の厚さが50mmのものを用いて施工する。ただし、施工場所に十分なスペースの取れない可能性がある一部の箇所については、ケース2の試験時の難燃シート（断熱材）の厚さ40mmまで圧縮して施工することとする。

参考資料 1

標準加熱試驗溫度表

時間：t (分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
標準加熱曲線 (°C)	576	678	739	781	815	842	865	885	902	918	932	945



標準加熱曲線図

IS0834 標準加熱曲線式  $T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20$

T : 加熱溫度 (°C)

t : 時間 (分)

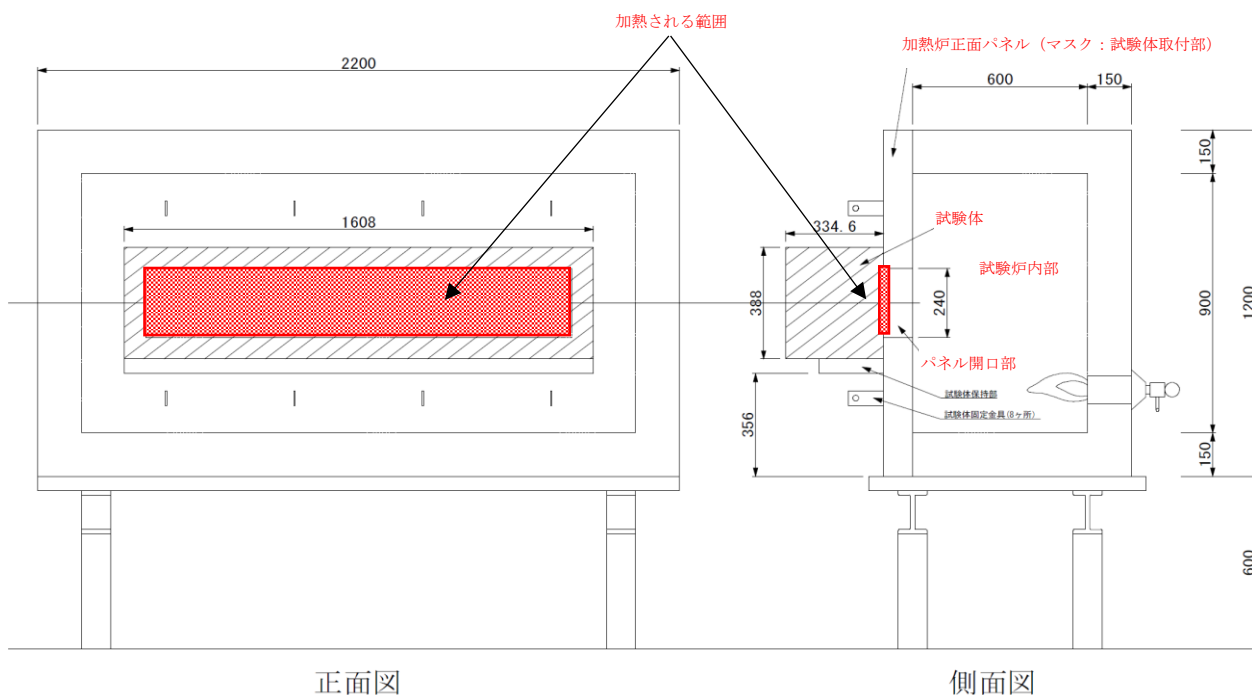
引用元 INTERNATIONAL STANDARD IS0834-1 First edition 1999-09-15

Fire-resistance tests Elements of building construction Part1 General requirements

参考資料 2

・加熱試験炉の仕様

- (1)外形寸法 2800mm(W) × 2350mm(H) × 900mm(D)
- (2)加熱面積 2200mm(W) × 1200mm(H) [2.64m<sup>2</sup>]
- (3)型式 壁型炉
- (4)加熱時間 標準 2 時間とし、最大 3 時間とする
- (5)熱源 LPG
- (6)熱量 20 万 kcal/hr
- (7)ガス圧 3000mmAq
- (8)炉体 無機繊維張り（一部キャストブル成型）
- (9)バーナー ストレートフレームバーナー
- (10)空気混合方式 火口混合式
- (11)試験炉内部温度センサ K 熱電対（JIS C 1605-1995 クラス 2）、φ 4.8 インコネルシース
- (12)温度調節 手動式



加熱試験炉の外観図



参考資料 3

試験体写真（試験実施前）

試験中写真

試験体写真（試験実施後）

---

参考資料 4

●試験体と実際の構造との比較及び試験方法の妥当性について

本試験については、JRR-3の原子炉建家貫通部の状況を鑑み、試験体の仕様及び試験方法を選定している。試験体と実際の構造（現場施工）との比較を表1に、貫通部のケーブル配置図を図2に、貫通部の写真を図3及び図4に示す。

試験体の仕様は、ケーブルトレイ境界から原子炉建家貫通部までの間の剥き出しとなっている防護対象ケーブルについて鋼板で囲い、その外側を難燃シートで巻設することを実際に想定した機器（同じ材質、厚さ）で構成している。また、試験方法については他の部位等と同様に、建築基準法に基づく標準加熱曲線（IS0834 曲線）を用いることとする。複数ある一般系ケーブルの貫通部区分のうち1つの区分のケーブル火災を想定した場合、原子炉建家貫通部の構造やケーブル配置の状況から防護対象ケーブルの周囲全体を囲むような火災は考え難いことから、加熱条件としては片面（一方向）の加熱で十分であると考え。本試験により、今回選定している難燃シート（断熱材）の厚さが十分であることを確認する。

なお、本試験を受注しているメーカーは、標準加熱曲線（IS0834 曲線）を用いた加熱試験に求められる知見・技術力を有しており、他の発電炉において同様の試験の実績があることを確認している。

表1 試験体と実際の構造（現場施工）との比較

項目		試験体	現場施工	備考（妥当性、保守性等）
難燃シート （複合材）	断熱材 （厚さ）	ファインフレックス BIO ブランケット （厚さ 50mm）	左記と同じ	実際の構造（現場施工）と同一であるため、妥当であると考え。
	表皮材 （厚さ）	コーテッドシリカクロス （厚さ 0.6mm）		
	内皮材 （厚さ）	ガラスクロス （厚さ 0.36mm）		
鋼板	材質	亜鉛メッキ鋼板（SECC）	左記と同じ	実際の構造（現場施工）と同一であるため、妥当であると考え。
	厚さ	1.6mm		
	大きさ	280mm(W) × 1500mm(L) × 226.6mm(H)	現場に合わせた大きさとする	試験体の鋼板は、建家貫通部の寸法を基に代表的な大きさとして決めている。現場施工用の鋼板の大きさと同一ではないが、本試験は難燃シート（断熱材）の厚さが十分であることの確認を目的としており、試験条件としては妥当であると考え。
加熱条件	加熱面	片面（一方向）	左記と同じ	建家貫通部の構造やケーブル配置の状況から防護対象ケーブルの周囲全体を囲むような火災は考え難く、片面（一方向）を加熱したときの内部温度（非加熱面温度）を測定する条件で十分であると考え。

実証試験を踏まえたケーブル分離設備の妥当性について

令和2年8月21日  
日本原子力研究開発機構  
原子力科学研究所

1. 火災防護に対する JRR-3 原子炉施設の安全確保の考え方

JRR-3 は、炉心を火災の影響により損傷させないために、原子炉の運転中において火災を確認した場合は、原子炉を停止し、その後、30 秒間の強制冷却（1 次冷却材主ポンプ 2 台、1 次冷却材補助ポンプ 2 台の計 4 台あるポンプのうち少なくとも 1 台による冷却確保）をすることとしている。この考え方のもと、火災の発生により JRR-3 原子炉施設の安全性が損なわれることを防止するため、火災発生防止（電気系統の過熱・焼損の防止、発火性・引火性物質の管理）、火災検知及び消火（自動火災報知設備、消火設備の設置）並びに火災の影響の低減（区画・距離・バリアによる物理的分離、多重化、フェールセーフ設計、不燃又は難燃性ケーブルの使用）の三方策を適切に組み合わせて、内部火災に対する防護対象設備を防護することを基本方針としている。表 1 に防護対象設備と火災による影響に関する整理表を示す。

JRR-3 施設内において火災発生を確認したときは、原子炉を停止することとしており、三方策の組み合わせによって炉心の崩壊熱除去は達成する。また、原子炉設置時に敷設したケーブルはすべて難燃性を採用しており、それらを各系統、ケーブルの種類ごと分離してケーブルダクト、ケーブルトレイ又は電線管に設置することで、火災に対する防護方針（原子炉停止後 30 秒間の強制冷却維持）を守ることをしている。

JRR-3 は、火災発生時に原子炉を安全に停止し、停止後 30 秒間の冷却を確保することが必要であることから、原子炉建家貫通部の安全保護系ケーブル（対象となる計測制御系ケーブルは、建家貫通部においては安全保護系ケーブルを共用している）及び非常用電源系ケーブル（以下、「防護対象ケーブル」という。）に対して難燃シートを用いてケーブル分離対策を施す。

表1 内部火災に対する防護対象設備と火災による影響

安全機能	構築物、系統及び機器	停止機能	冷却機能 <sup>※2</sup>	
過大な反応度の添加防止	制御棒駆動装置	○		フェールセーフで設計されており、ケーブルが焼損した場合は自重により制御棒が炉心に挿入されるため、原子炉は自動停止する。
炉心の形成	炉心構造物	○		水中に設置されているため、火災によりその機能を失うことはない。
炉心の冷却	燃料要素			
	冠水維持設備 (サイフォンブレイク弁を除く。)		○	不燃材により構成されており、火災により機能を喪失することはない。
炉心の保護	1次冷却系設備		○	護るべき安全機能は1次冷却材の保持であり、主要材料にステンレス鋼を用いているため、火災によりその機能を失うことはない。 万一、ケーブルが焼損した場合には、1次冷却材流量低もしくは1次冷却材主ポンプ停止により原子炉は自動停止する。
	原子炉プールコンクリート躯体		○	不燃材により構成されており、火災により機能を喪失することはない。
重水を内蔵する機能	重水タンク、重水冷却系設備			護るべき安全機能は重水の保持であり、水中に設置されているまたは主要材料にステンレス鋼を用いているため、火災によりその機能を失うことはない。 万一、ケーブルが焼損した場合には、重水流量低もしくは重水溢流タンク水位、重水温度高により原子炉は自動停止する。
放射性物質の貯蔵機能	使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む。)			不燃材により構成されており、火災により機能を喪失することはない。
原子炉の緊急停止	制御棒、スクラム機構	○		水中に設置されているまたはステンレス鋼により構成されているため、火災によりその機能を失うことはない。
未臨界維持	制御棒	○		
工学的安全施設及び原子炉停止系統への作動信号の発生	安全保護回路(停止系)	○		フェールセーフで設計されており、ケーブルが焼損した場合は原子炉は自動停止する。
原子炉停止後の除熱	1次冷却材補助ポンプ		○	原子炉停止後30秒は2系統あるうち、最低1系統は防護される必要がある。
安全上特に重要な関連施設	非常用電源系		○	非常用電源系を構成する機器、ケーブルは独立に設置されており、一方が焼損した場合でももう一方の系統により必要な安全機能は維持される。
計測・制御 (安全保護機能を除く。)	中性子計装設備 <sup>※1</sup> 、 プロセス計装設備 <sup>※1</sup>	○ <sup>※3</sup>	○ <sup>※3</sup>	原子炉停止後30秒は2系統あるうち、最低1系統は防護される必要がある。

※1：崩壊熱除去運転のために監視が必要な設備に限る

※2：原子炉停止後の崩壊熱除去（30秒）に限る

※3：停止機能及び冷却機能が達成されていることの確認のための設備

## 2. 原子炉建家貫通部のケーブル分離設備の設計方針

防護対象ケーブルの大部分については、各系統、ケーブルの種類ごとに分離してケーブルダクト、ケーブルトレイ又は電線管に設置する等、火災に対する防護対策がされているが、原子炉建家の貫通部については、構造上の制約からケーブルトレイから外れ、比較的近い距離に集まり建家を貫通するため、火災に対する物理的な独立性が確保されていない。そのため、当該箇所については防護対象ケーブルA系、B系をそれぞれ鋼板で囲い、その外側に難燃シートを施工し、系統分離することにより独立性を確保する。これにより、1. で述べた火災発生による停止後30秒間の強制冷却を確保する。

### 3. ケーブル分離設備の設計仕様

#### 3.1 分離設備（難燃シート等）

防護対象ケーブルに施工する難燃シート等の仕様を以下に示す。難燃シートの1時間の耐火性能を確認した実証試験の詳細については、資料 R3-210-O に示すとおり。

表2 難燃シート等の仕様

<u>項目</u>		<u>仕様</u>
<u>難燃シート※</u> <u>(シリカ・マグネシア・カルシア系</u> <u>+シリカ系複合材)</u>	<u>断熱材</u> <u>(厚さ)</u>	<u>ファインフレックス BIO ブランケット</u> <u>(厚さ 50mm)</u>
	<u>表皮材</u> <u>(厚さ)</u>	<u>コーテッドシリカクロス</u> <u>(厚さ 0.6mm)</u>
	<u>内皮材</u> <u>(厚さ)</u>	<u>ガラスクロス</u> <u>(厚さ 0.36mm)</u>
<u>鋼板</u>	<u>材質</u>	<u>亜鉛メッキ鋼板 (SECC)</u>
	<u>厚さ</u>	<u>1.6mm</u>

※建築基準法に基づく1時間の耐火性能を有していることとして、IS0834の標準加熱曲線で1時間加熱したときの非加熱面の温度が防護対象機器の機能喪失温度（原子力発電所の内部火災影響評価ガイドのケーブル損傷基準：205℃）以下であることを実証試験により確認したもの。

#### 3.2 施工方法

難燃シート等は当該設備の性能を損なわないよう、下記に従ったうえで図1及び図2に示すように施工する。

- (1) 難燃シート及び鋼板は、表2に示す仕様（実証試験の試験体と同様の材質、厚さ）のものを用いる。
- (2) 防護対象ケーブルA系、B系の各々を鋼板で囲い、その外側を難燃シートで巻設する。
- (3) 難燃シートの固定には、耐熱性を有する止め具（表皮材と同様の材質のベルト等）を用いる。
- (4) 以下に示す難燃シートの設置範囲の境界部分については、UL94V-0相当以上の難燃性を有するパテ等を用いて隙間を埋めることとする。
  - ・原子炉建家内側：建家貫通部（壁面手前まで）のケーブルと難燃シートの境界及び既設ケーブルトレイと難燃シートの境界
  - ・原子炉建家外側：建家貫通部（壁面）のケーブルと難燃シートの境界及び既設ケーブルトレイと難燃シートの境界
- (5) 原子炉建家内側の貫通部のうち、原子炉建家壁により物理的に分離されている箇所については、難燃シート等の施工による分離は不要とする。

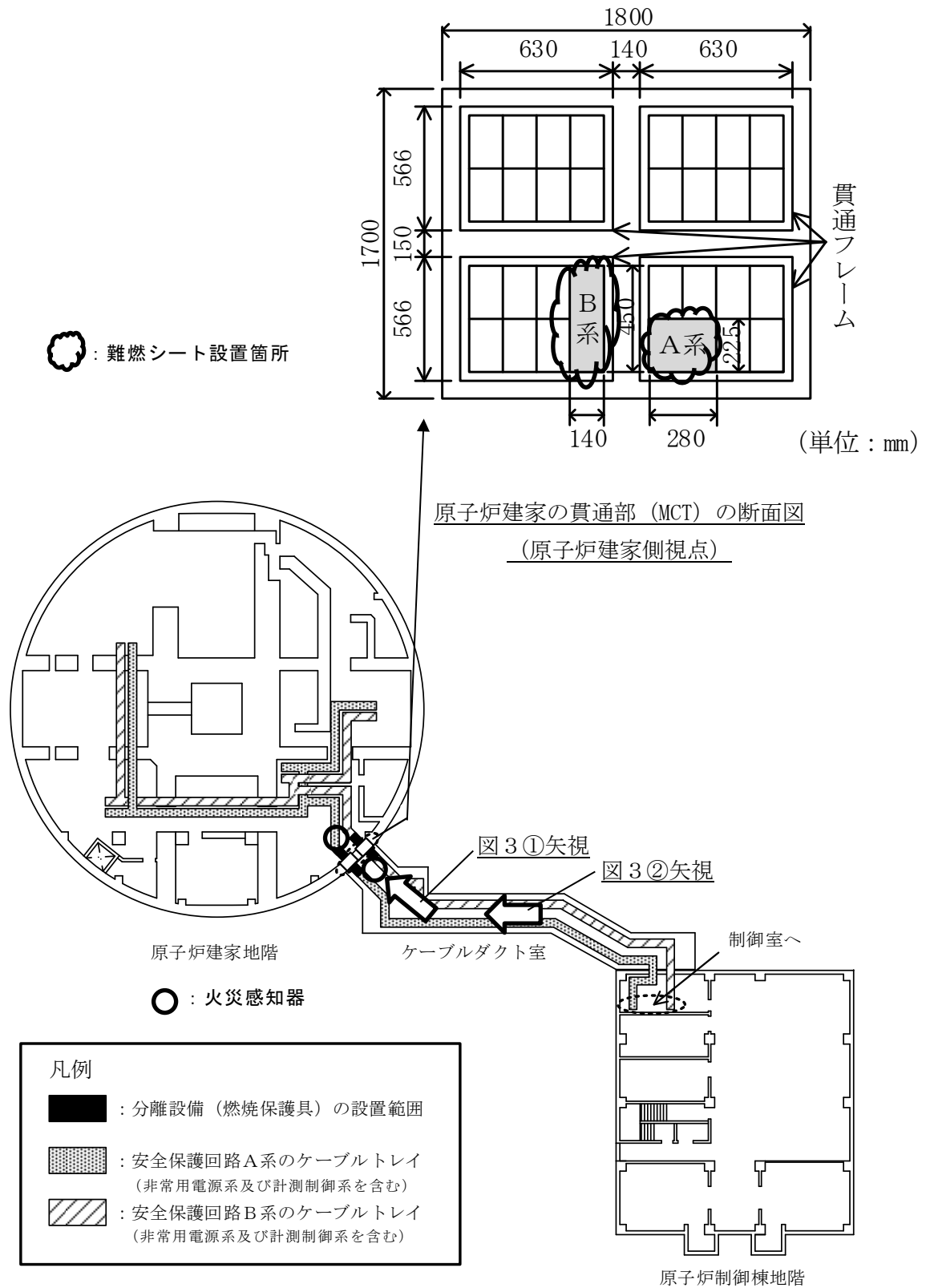


図1 分離設備の設置図

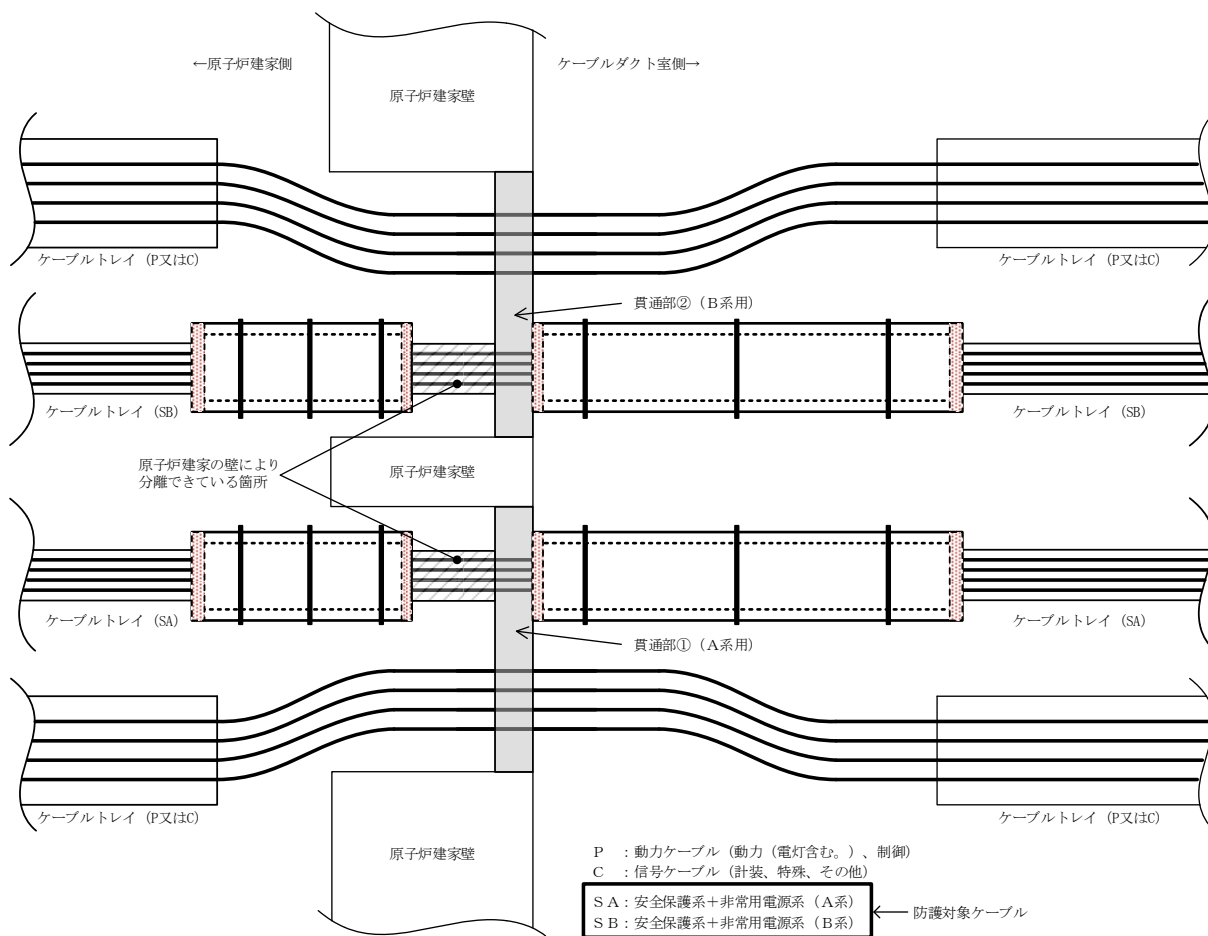


図2 難燃シート等の施工概略図



図3① ケーブルダクト室内 MCT 付近



図3② ケーブルダクト室内

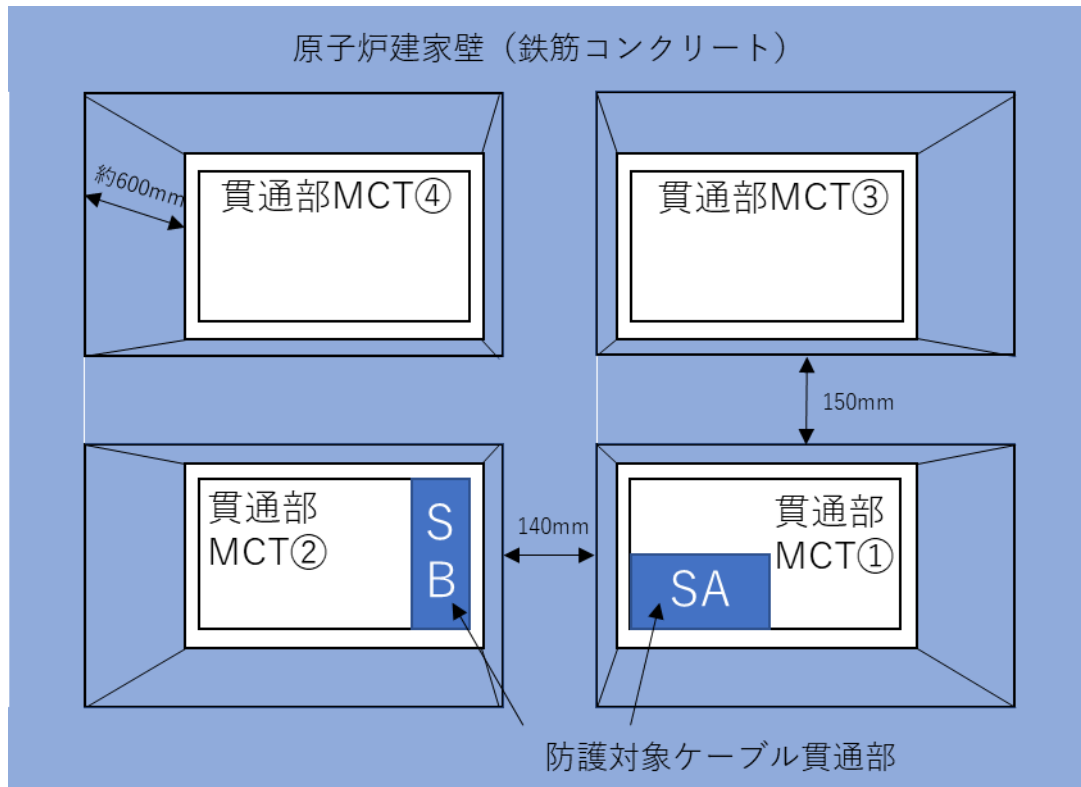


図4 原子炉建家貫通部イメージ図（原子炉建家側）

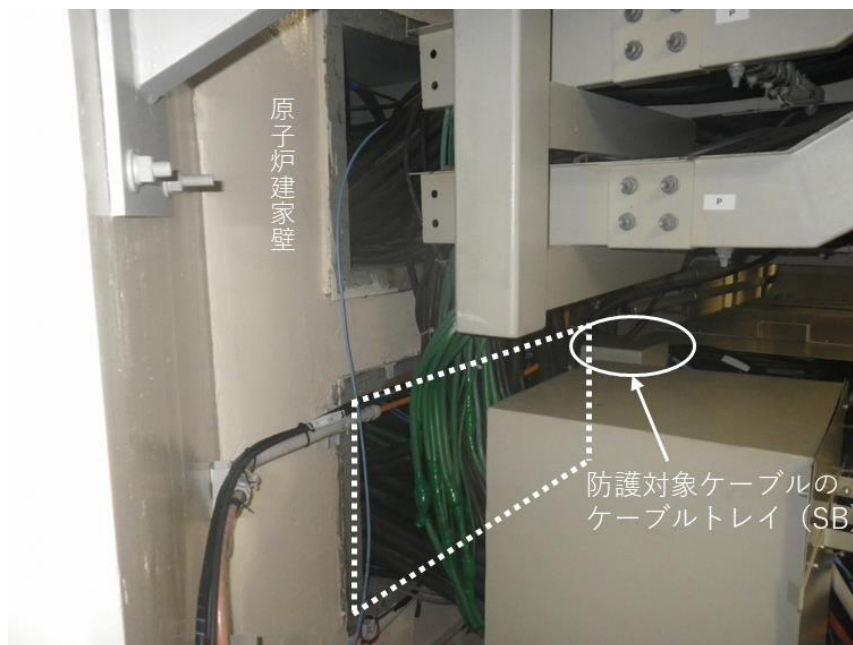


図5 原子炉建家貫通部の写真（原子炉建家側）



## 4. 火災影響評価

### 4. 1 評価条件

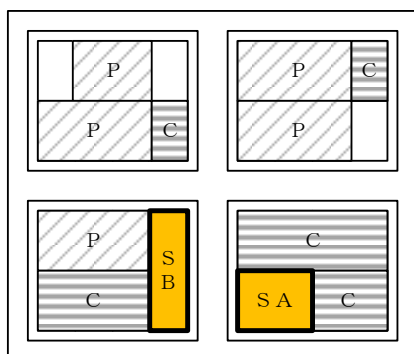
#### (1) ケーブルの種類、配置の詳細

原子炉建家貫通部に敷設されているケーブルの種類は、動力ケーブル（動力、電灯、制御）、信号ケーブル（計装、特殊、その他）である。これらのケーブルは一部を除いて難燃性を有するケーブルを採用している（動力、電灯、制御、計装、特殊ケーブル等、原子炉設置時に敷設したケーブルはすべて難燃ケーブル。後付けしたその他のケーブル（LAN ケーブル等）は一部非難燃性）。貫通部のケーブル詳細配置図を図 6 に、貫通部のケーブル一覧表を表 3 に示す。

また、ケーブルダクト室内には、引火性・可燃性物質等のケーブル以外の発火源が存在しない。このことから、ケーブルを発火源としたケーブル火災について評価する。

#### (2) 発火源の想定

- ・ 図 3 に示すとおり、ケーブルダクト室には発火性・引火性物質は存在せず、原子炉運転中は立入禁止とし、施錠管理していることから、発火源としてはケーブルのみを想定する。
- ・ 発火源は、原子炉建家貫通部のすべてのケーブルを対象とする。
- ・ 建家貫通部 MCT は耐火構造を有していることから、火災が貫通部を通過することはない。

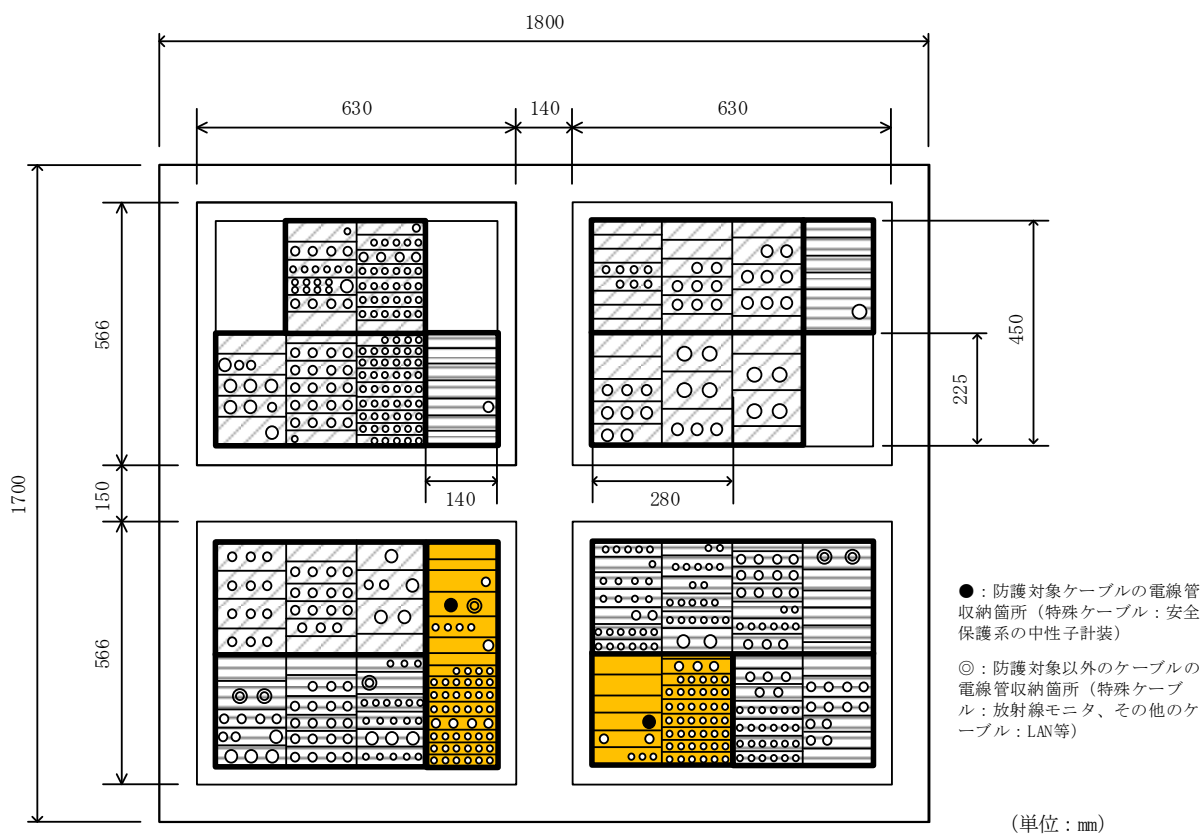


P : 動力ケーブル (動力 (電灯含む。)、制御)  
 C : 信号ケーブル (計装、特殊、その他)

S A : 安全保護系+非常用電源系 (A系)  
 S B : 安全保護系+非常用電源系 (B系)

← 防護対象ケーブル

貫通部の区分



● : 防護対象ケーブルの電線管  
 収納箇所 (特殊ケーブル : 安全  
 保護系の中性子計装)  
 ◎ : 防護対象以外のケーブルの  
 電線管収納箇所 (特殊ケー  
 ブル : 放射線モニタ、その他  
 ケーブル : LAN等)

(単位 : mm)

図6 貫通部のケーブル詳細配置図 (原子炉建家側視点)

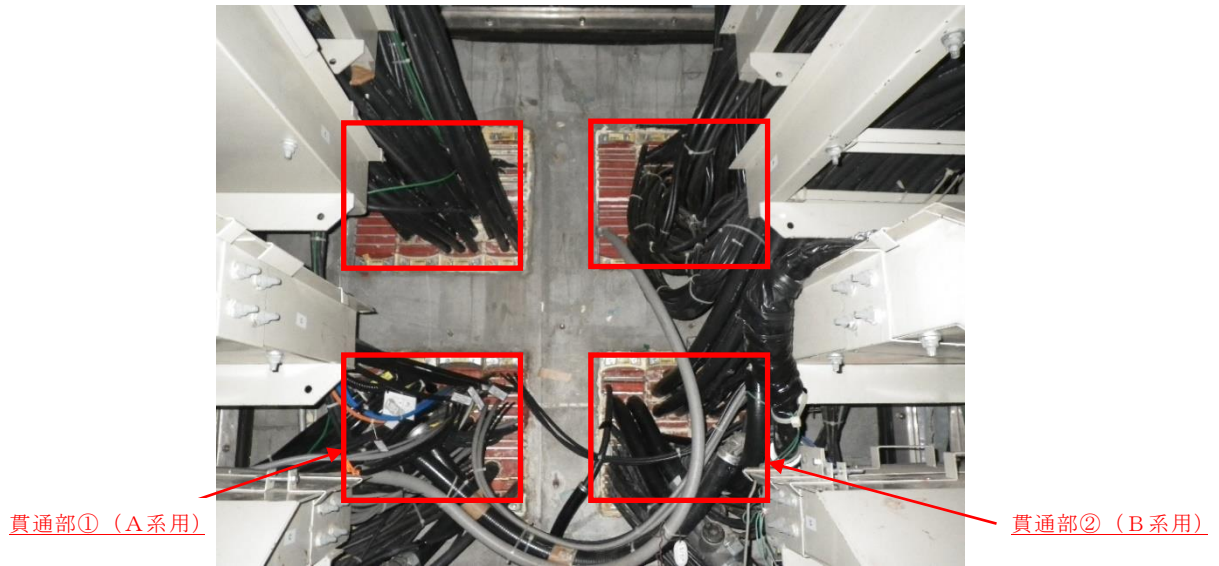


図7 貫通部の写真 (ケーブルダクト室側視点)

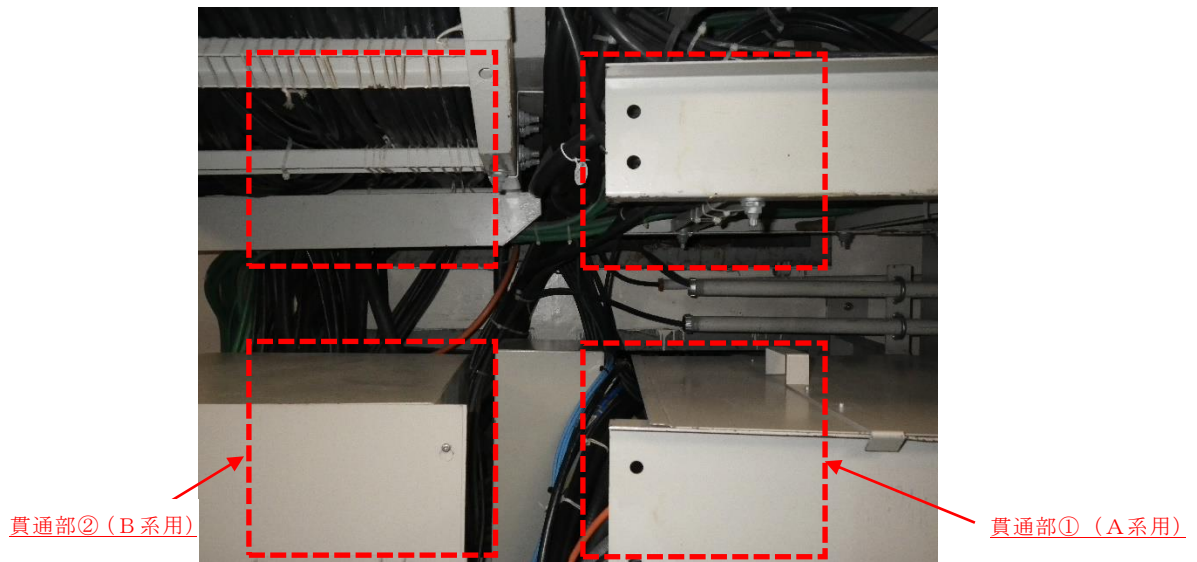


図8 貫通部の写真 (原子炉建家側視点)

表3 貫通部のケーブル一覧表

種類		ケーブル名称	難燃性の確認	
			延焼性	自己消火性
動力ケーブル	動力、電灯 ケーブル (P、SA、SB)	難燃 EP ゴム絶縁特殊クロロプレン ゴムシースケーブル	○	○
		難燃性架橋ポリエチレン絶縁ビニ ルシース低圧動力ケーブル	○	○
	制御ケーブル (P、SA、SB)	制御用難燃 EP ゴム絶縁特殊クロロ プレンゴムシースケーブル	○	○
		難燃性ビニル絶縁ビニルシース制 御ケーブル	○	○
信号ケーブル	計装ケーブル (C、SA、SB)	静電遮蔽付難燃 EP ゴム絶縁特殊ク ロロプレンゴムシースケーブル	○	○
		難燃性ビニル絶縁ビニルシース計 装ケーブル	○	○
	特殊ケーブル (C、SA、SB)	架橋ポリエチレン絶縁2重編組特 殊同軸ケーブル	○※	○
	その他 (C)	難燃性ビニル絶縁電線	○	○
		LAN ケーブル	○	
		光ファイバーケーブル		
		原子炉建家地震計専用ケーブル		

※参考資料3参照

#### 4.2 評価

ケーブル火災による影響評価にあたっては、内部火災評価ガイドを参考に火災等価時間を算出し、その結果が難燃シートの耐火性能である1時間を超えないことを確認する。

##### (1) 火災区画の面積

発火源に想定したケーブルが設置されているケーブルダクト室の床面積を火災区画の面積に設定する。

ケーブルダクト室の床面積 =  $2.9\text{m} \times 25.8\text{m} = 74.82 \text{ (m}^2\text{)}$

∴火災区画の面積 :  $74.82 \text{ (m}^2\text{)}$

##### (2) 火災区画の発熱量

難燃シート施工範囲のケーブルを発火源とし、この範囲のケーブルの量から発熱量を算出する。

可燃性物質の量（ケーブル量）：575（kg）

ケーブルの熱含有率：25,568（kJ/kg）

発熱量＝ケーブル量×熱含有量

$$= 575 \times 25,568$$

$$= 14,701,600 \text{ (kJ)}$$

### （3）等価時間の設定

（2）で算出した火災区域の発熱量から、下式により等価時間を算出する。

等価時間＝火災荷重／燃焼率

$$= \text{発熱量} / \text{火災区画の面積} / \text{燃焼率}$$

$$= 14,701,600 / 74.82 / 908,095$$

$$= 0.22 \text{ (h)}$$

ここで、

燃焼率：短時間単位面積当たりの発熱量（908,095 kJ/m<sup>2</sup>/h）

発熱量：14,701,600（kJ）

火災区画の面積：74.82（m<sup>2</sup>）

以上より、等価時間が 0.22（h）であり 1 時間を超えないことから、想定するケーブル火災に対し難燃シートの耐火性能は確保され、防護対象ケーブルは護られる。

## 5. 結論

以上より、想定される火災発生時においても防護対象ケーブルが 2 系統同時に損傷を受けることはなく、また、最低限 1 系統の防護対象ケーブルは護られることから、火災による原子炉停止後 30 秒間の強制冷却が可能であり、原子炉の安全機能は維持できる。

よって、原子炉建家貫通部に施工するケーブル分離設備は、独立性確保のための十分な耐火性能を有していると判断する。

参考資料1 難燃シートを施工した場合の通電状態のケーブルによる温度上昇について

難燃シート（シリカ・マグネシア・カルシア系＋シリカ系複合材）を施工する対象ケーブル（安全保護系（計測制御系を含む）、非常用電源系）は440V以下の低電圧ケーブルであり、通電状態における温度は室温と同程度（実測で約20℃）であり、著しい発熱を生じるものではない。また、施工する難燃シート（シリカ・マグネシア・カルシア系＋シリカ系）の熱抵抗※は約0.3(m<sup>2</sup>・K/W)であり、一般的な断熱材の熱抵抗（フェノールフォーム系：約3.0(m<sup>2</sup>・K/W)）に比べて10倍程度熱を通しやすい材料である。このことから、難燃シートを施工した場合でも、通常の通電状態においてはケーブル自体への熱影響はない。

なお、女川2号炉で実施している許容電流低減率（空中一条敷設時の許容電流に対するケーブル多条敷設や耐火ラッピング施工による許容電流の低減割合。）の実証試験結果（H30年4月審査資料）によると、難燃シートを巻くことにより多条敷設時の許容電流から更に電流を低減させるための許容電流低減率は約56%であり、これを参考にJRR-3の防護対象ケーブル（最も発熱の大きい1次冷却材補助ポンプに関するケーブルを選定）の各状態における許容電流を算出すると、参表1の値となる。これらの値を比較すれば、④の電流値は③の電流値を超えないことが分かる。

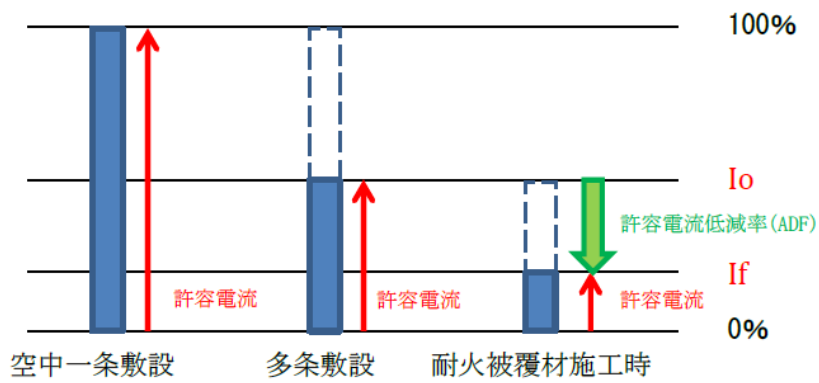
※熱抵抗：物の断熱性能を表す値

（定義） 熱抵抗 (m<sup>2</sup>・K/W) = 断熱材の厚さ (m) ÷ 熱伝導率 (W/m・K)

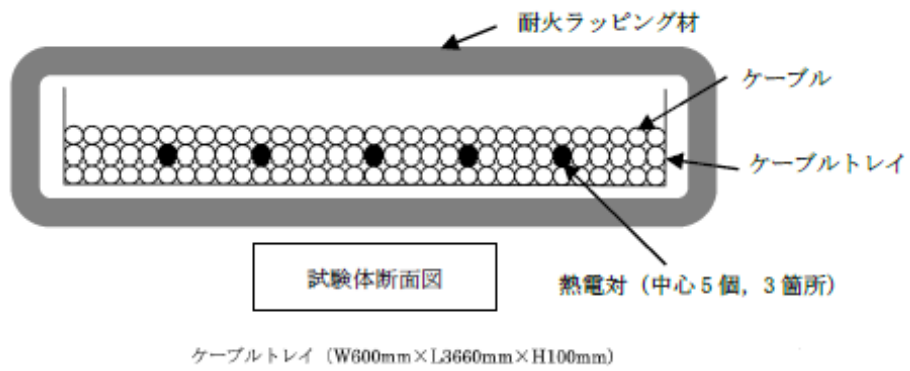
参表1 JRR-3防護対象ケーブルの各状態における電流値

項目	電流値 (A)	備考
①空中一条敷設時の許容電流	100	当該ケーブル規格に基づく許容値
②ケーブルトレイ等多条敷設時の許容電流	70	JRR-3における設計上の許容値
③難燃シート施工後の許容電流	30.5	女川2号炉の許容電流低減率56%を参考に計算
④実際に防護対象ケーブルに流れる電流値	26※	JRR-3における設計値

※1次冷却材補助ポンプの運転に必要な電流値の合計。



ケーブル許容電流と許容電流低減率（女川 2 号炉ケーブルトレイラッピングの場合）  
 （出典 女川 2 号炉 H30 年 4 月 審査資料）



許容電流低減率評価 試験体構造概略図（出典 女川 2 号炉 H30 年 4 月 審査資料）

## 参考資料 2 内部火災防護対象設備の難燃ケーブルについて

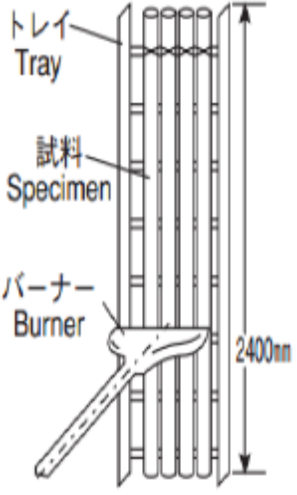
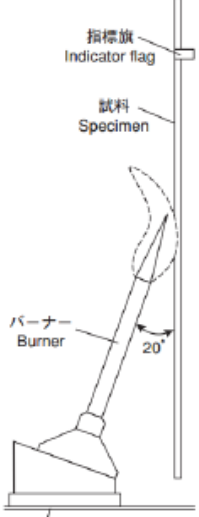
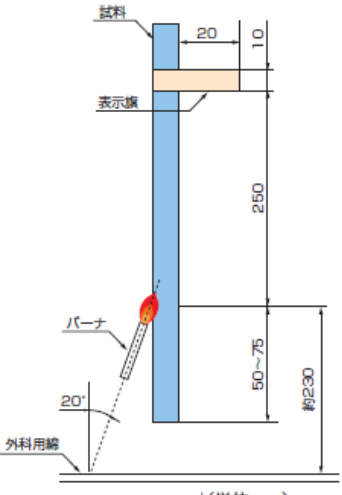
ケーブルトレイに施設する内部火災防護対象設備に係る難燃ケーブルは、ICEA 垂直燃焼試験及び IEEE 規格 383 垂直トレイ燃焼試験に合格していることにより自己消火性及び耐延焼性を有していることを確認している。

JRR-3 において自己消火性の確認のために実施している ICEA 垂直燃焼試験は参表 2 に示すとおり UL 垂直燃焼試験と試験方法、判定基準については同等のものとなっている。ICEA 垂直燃焼試験はケーブルのシースを取り除いた試験であること、判定基準に綿の燃焼を規定していない等の一部相違点があるが、一般に絶縁体に比べてシースの自己消火性のほうが高いため、シースを取り除いた ICEA 垂直燃焼試験の方が厳しい試験条件であると言える。自己消火性の確認については、実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準（以下、「発電炉審査基準」という。）において UL 垂直燃焼試験がその実証試験として例示されているが、上記の理由から ICEA 垂直燃焼試験は UL 垂直燃焼試験と同様に、自己消火性を確認できるものと考ええる。

なお、参表 3 に示すとおり、発電炉におけるの UL 垂直燃焼試験確認ケーブルと JRR-3 のケーブルのシースについて比較した結果、材質、厚さともにすべて発電炉で合格したものと同等であることを確認している。また、JRR-3 における実証試験は代表性のあるケーブルについて抜き取りで実施しており、試験対象としていないケーブルについては、ケーブルメーカーが発行するケーブル仕様書により適合性を確認している。



参表2 ケーブル燃焼試験の概要

試験名	垂直トレイ燃焼試験 (IEEE 規格 383)	垂直燃焼試験 (ICEA S-19-81)	垂直燃焼試験 (UL 規格)
試験装置概要	 <p>トレイ Tray 試料 Specimen バーナー Burner 2400mm</p>	 <p>指標旗 Indicator flag 試料 Specimen バーナー Burner 20°</p>	 <p>試料 20 10 表示旗 250 バーナー 20° 外科用綿 50~75 約230 !(単位mm)</p>
試験方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>バーナーはトレイ下端より 600mm の位置で炎がトレイのクロス材の中間部で当たるようにかつ試料表面とバーナーの炎口面の間隔が 75mm になるようにトレイ幅の中央部に水平に設置する。</li> <li>バーナーを点火し 20 分間連続燃焼させる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>資料を垂直に保持し、20 度の角度でバーナーの炎をあてる。</li> <li>15秒着火、15秒休止を5回繰り返し、資料の燃焼の程度を調べる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>資料を垂直に保持し、20 度の角度でバーナーの炎をあてる。</li> <li>15 秒着火、15 秒休止を 5 回繰り返し、資料の燃焼の程度を調べる。</li> </ul>
判定基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>20 分間の燃焼中及び燃焼後においてケーブルの上端まで延焼しないこと。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>残炎による燃焼が 60 秒を越えない。</li> <li>表示旗が 25% 以上焼損しない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>残炎による燃焼が 60 秒を越えない。</li> <li>表示旗が 25% 以上焼損しない。</li> <li>落下物によって下に設置した綿が燃焼しない。</li> </ul>

参表3 JRR-3 と発電炉における難燃ケーブルシース比較

JRR-3 火災防護対象設備ケーブル		発電炉 UL 垂直燃焼試験確認ケーブル	
シース材	シース厚さ	シース材	シース厚さ
特殊耐熱ビニル	1.5 mm以上	特殊耐熱ビニル※ <sup>1</sup>	1.5 mm
難燃クロロプレンゴム	1.5 mm以上	難燃クロロプレンゴム※ <sup>1</sup>	1.5 mm
難燃架橋ポリエチレン	0.9 mm以上	ノンハロゲン難燃架橋 ポリエチレン※ <sup>2</sup> 、※ <sup>3</sup>	1.02 mm

※1 日本原電東海第二原子力発電所 平成 29 年 10 月審査資料より

※2 東京電力柏崎原子力発電所 6、7 号炉 平成 27 年 8 月審査資料より

※3 自己消火性（燃焼継続性の有無）の確認としては主として酸素指数がその指標となる。酸素指数はどちらも 35 程度であることから、自己消火性の観点において同等の材質であると判断する。

### 参考資料3 難燃ケーブルの耐延焼性について

参考資料2で説明した通り、ケーブルトレイに敷設するグループケーブルについては、ICEA 垂直燃焼試験及び IEEE 規格 383 垂直トレイ燃焼試験に合格していることにより自己消火性及び耐延焼性を有していることを確認している。

一方、特殊ケーブルとして分類した同軸ケーブルについては、ICEA 垂直燃焼試験により自己消火性については確認しているが、IEEE 規格 383 垂直トレイ燃焼試験による耐延焼性については確認していない。当該ケーブルは電流値が小さいことから自己発火の可能性は低く、万が一発火することを想定したとしても電線管に収納され両端をパテで密封してあることから酸素不足が生じ燃焼が継続することはない。そのため、十分に耐延焼性を確保していると判断する。